

PAT-NO: JP407259854A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07259854 A
TITLE: MAGNETIC BEARING DEVICE
PUBN-DATE: October 9, 1995

INVENTOR-INFORMATION:
NAME
YAMAMOTO, MASAYUKI

ASSIGNEE-INFORMATION:
NAME COUNTRY
SEIKO SEIKI CO LTD N/A

APPL-NO: JP06054095
APPL-DATE: March 24, 1994

INT-CL (IPC): F16C032/04

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide a magnetic bearing device formed so as to suppress vibration in a stator side based on turning a rotary unit deflected.

CONSTITUTION: In a displacement detecting means, displacement Δx of a gap between a rotary unit and an electromagnet is detected, and in a frequency extracting means 41, of fluctuation component signals of the gap between the rotary unit and the electromagnet detected by the displacement detecting means, a frequency component for of the rotary unit is extracted. In the first arithmetic means 43, the rotary unit frequency component extracted in the

frequency extracting means is multiplied by a DC bias current 10 and also divided by a stationary value x_0 of the gap. In the second arithmetic means 46, 47, an output result of the first arithmetic means is added or subtracted relating to the DC bias current. This addition or subtraction result is supplied to the electromagnet, to cancel a fluctuation amount of a current supplied to the electromagnet and a fluctuation amount of the gap, and attracting force of the electromagnet is determined by a fixed value of DC bias current, stationary value of the gap, etc.

COPYRIGHT: (C) 1995, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-259854

(43) 公開日 平成7年(1995)10月9日

(51) Int.Cl.⁶
F 1 6 C 32/04

識別記号 庁内整理番号
A

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平6-54095

(22) 出願日 平成6年(1994)3月24日

(71) 出願人 000107996

セイコー精機株式会社

千葉県習志野市屋敷4丁目3番1号

(72) 発明者 山本 雅之

千葉県習志野市屋敷4丁目3番1号 セイ

コー精機株式会社内

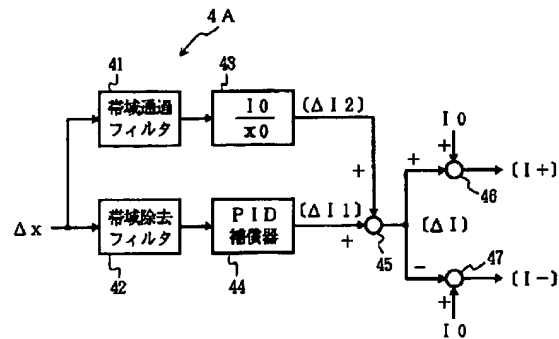
(74) 代理人 弁理士 林 敬之助 (外1名)

(54) 【発明の名称】 磁気軸受装置

(57) 【要約】

【目的】 回転体の振れ回りに基づくステータ側の振動を抑制するようにした磁気軸受装置を提供する。

【構成】 変位検出手段5、6は回転体Rと電磁石1aとのギャップの変位 Δx を検出し、周波数抽出手段41は変位検出手段で検出した回転体と電磁石とのギャップの変動分信号の内、回転体の周波数成分 f_r を抽出する。第1演算手段43は、周波数抽出手段で抽出した回転体周波数成分に、直流バイアス電流 I_0 を乗算すると共に、前記ギャップの定常値 x_0 で除算する。第2演算手段46、47は、前記直流バイアス電流に対して、第1演算手段の出力結果を加算または減算する。そして、この加算または減算結果は電磁石に供給され、電磁石に供給する電流の変動分およびギャップの変動分がキャンセルされ、電磁石の吸引力は、直流バイアス電流とギャップの定常値等の一定値によって決定される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転体と、

この回転体を所定位置で磁気支持する電磁石と、
前記回転体と電磁石とのギャップの変位を検出する変位
検出手段と、

この変位検出手段で検出された回転体と電磁石とのギャ
ップの変動分信号の内、回転体の回転周波数成分を抽出
する周波数抽出手段と、

この周波数抽出手段で抽出した回転周波数成分に、前記
電磁石に供給する電磁石電流の一部をなす直流バイアス
電流を乗算すると共に、前記回転体が所定位置に存在す
る場合におけるギャップの定常値で除算する第1演算手
段と、

前記直流バイアス電流に対して、前記第1演算手段の出力
結果を加算または減算する第2演算手段とを備えたこ
とを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項2】 前記周波数抽出手段は、帯域通過フィル
タであることを特徴とする請求項1記載の磁気軸受装
置。

【請求項3】 前記周波数抽出手段は、前記ギャップの
変動分信号の内、回転体の回転周波数成分を除去する帯
域除去フィルタと、前記ギャップの変動分信号から、前
記帯域除去フィルタの出力信号を減算する減算器とを備
えたことを特徴とする請求項1記載の磁気軸受装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、磁気軸受装置に係り、
例えば、回転体の不釣り合いにより発生する振動を抑制する
磁気軸受装置に関する。

【0002】

【従来の技術】回転体を磁気軸受で支持するシステムに
おいては、「回転体の回転軸」と「重心」とのずれに基
づく不釣り合いが、回転体に生じる場合がある。このよ
うな場合に磁気軸受は、前記不釣り合いに起因する「回
転体の振り回り」を抑えつけようとするため、回転周波
数に同期した周期的な制御力を発生する。この周期的な
制御力により磁気軸受電磁石が配置されたステータ側
に、回転周波数成分の振動が発生する。

【0003】一方、磁気軸受は、例えばターボ分子ポン
プに使用される場合がある。ターボ分子ポンプは、振動
を極度に嫌う電子顕微鏡や半導体製造装置等に使用され*

$$F = K \{ (I_0 + \Delta I) / (x_0 + \Delta x) \}^2 \quad \dots (4)$$

この(4)式から明らかなように、「回転浮上時」にお
ける吸引力Fには、ギャップの変動分 Δx と電磁石電流
の変動分 ΔI とが含まれ、「回転浮上時」における電磁
石が発生する吸引力Fは変動することが分かる。

【0011】また、直流バイアス電流 I_0 および電磁石
部の定常値のギャップ x_0 は、予め設定可能な値であ
る。前記電流 I_0 およびギャップ x_0 の条件が与えられ
た場合に、回転体Rの「静止浮上時」における電磁石M※50

* するため、前述の不釣り合いによって生じるステータ側の
振動は、好ましくない。従来、前述のような振動を防ぐ
手段として「磁気懸垂方式ロータに於ける同期妨害補償
装置」(特公昭60-14929号公報)が知られてい
る。

【0004】この特公昭では、センサで検出した回転体
と電磁石とのギャップに基づくギャップ変位信号の内、
回転体の回転周波数成分の信号をフィルタで除去するこ
とにより、電磁石が前記回転周波数に同期した周期的な
制御力を発生しないようにしている。

【0005】その結果、回転体は慣性中心(重心中心)
で回転を行う。このようにすれば、回転体の振り回りは
残るが、回転周波数に同期した周期的な制御力によって
発生するステータ側の振動を減少させることができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記特
公昭によっては、ステータ側の振動を大幅に減少させる
ことができず、前述の振動を極度に嫌う用途で磁気軸受
を使用する場合には、その残留分の振動が問題点となっ
ていた。

【0007】ここで、前記特公昭では、ステータ側の振
動を大幅に減少させることができない理由を、数式を用
いて詳細に説明する。図6に示すように、一般に、磁気
軸受に使用される電磁石Mが発生する吸引力Fは、

(1)式で表される。

$$F = K (I/x)^2 \quad \dots (1)$$

ここに、Kは電磁石の形状や巻数で決まる係数、Iは電
磁石電流、xは電磁石部のギャップである。通常、磁気
軸受では電磁石Mの吸引力を線形化するために、直流バ
イアス電流 I_0 を重畳しており、また、回転体Rの位置
制御信号による電磁石電流Iの変動分を ΔI とすると、
電磁石電流Iは(2)式で表される。

$$I = I_0 + \Delta I \quad \dots (2)$$

一方、電磁石部のギャップの定常値を x_0 、ギャップの
変動分を Δx とすると、電磁石部のギャップxは(3)
式で表される。

$$x = x_0 + \Delta x \quad \dots (3)$$

従って、(2)、(3)式を(1)式に代入すると、

$$(4)式となる。$$

【0010】

※が発生する力F0は、(5)式で表される。

$$F_0 = K (I_0/x_0)^2 \quad \dots (5)$$

この(5)式から明らかなように、「静止浮上時」にお
ける吸引力F0には、前述の変動分 Δx 、 ΔI が含まれ
ておらず、吸引力F0は変動しないことが分かる。

【0013】一方、回転体Rの回転中におけるギャップ
の変動分 Δx は、主に回転体Rの振り回りによって生じ
る。ギャップの変動分 Δx は、ギャップ変位センサで検

出され、磁気軸受制御回路にフィードバックされる。フィードバックされたギャップの変動分 Δx は、PID（比例積分微分）補償器などを通して電流指令値が得られ、この電流指令値によって電磁石電流の変動分 ΔI が決定される。

【0014】そして、通常、ギャップの変動分 Δx を「0」に近づけるように電磁石電流の変動分 ΔI が変化するようにしている。しかしながら、前記特公昭では、図6に示すように、振れ回り信号（ギャップの変動分） Δx のパワースペクトラム中で回転体の回転周波数の成分に注目し、回転周波数に同期したトラッキング式帯域除去フィルタ51を用いて電流指令値の回転周波数成分を除去し、更にPID補償器52を介して電流指令値 $[\Delta i]$ を生成している。

【0015】従って、回転周波数成分のみを考えると、(4)式は(6)式で表される。

$$F = K \{ I_0 / (x_0 + \Delta x) \}^2 \dots (6)$$

この(6)式から明らかなように、回転体Rの位置制御電流による電磁石電流の変動分 ΔI に基づく吸引力変動はなくなるが、振れ回り信号（ギャップの変動分） Δx による吸引力変動は残り、ステータ側の振動を大幅に減少させることができなかった。

【0016】そのため、例えば、電子顕微鏡にターボ分子ポンプを使う場合など、用途によっては振動減衰用の機械的なダンパーを別に設ける必要があった。そこで、本発明の目的は、ステータ側の振動を大幅に減少させる磁気軸受装置を提供することである。

【0017】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明では、回転体と、この回転体を所定位置で磁気支持する電磁石と、前記回転体と電磁石とのギャップの変位を検出する変位検出手段と、前記変位検出手段で検出された回転体と電磁石とのギャップの変動分信号の内、回転体の回転周波数成分を抽出する周波数抽出手段と、この周波数抽出手段で抽出した回転周波数成分に、前記電磁石に供給する電磁石電流の一部をなす直流バイアス電流を乗算すると共に、前記回転体が所定位置に存在する場合におけるギャップの定常値で除算する第1演算手段と、前記直流バイアス電流に対して、前記第1演算手段の出力結果を加算または減算する第2演算手段とを備えて、前記目的を達成する。

【0018】請求項2記載の発明では、前記周波数抽出手段を、帯域通過フィルタで構成して、前記目的を達成する。請求項3記載の発明では、前記周波数抽出手段は、前記ギャップの変動分信号の内、回転体の回転周波数成分を除去する帯域除去フィルタと、前記ギャップの変動分信号から、前記帯域除去フィルタの出力信号を減算する減算器とを備えて、前記目的を達成する。

【0019】

【作用】請求項1記載の磁気軸受装置では、周波数抽出

手段は、変位検出手段で検出した回転体と電磁石とのギャップの変動分信号の内、回転体の周波数成分を抽出する。第1演算手段は、周波数抽出手段で抽出された回転体周波数成分に、電磁石に供給する電流を形成する直流バイアス電流を乗算すると共に、前記回転体が所定位置に存在する場合におけるギャップの定常値で除算を行う。第2演算手段は、前記直流バイアス電流に対して、前記第1演算手段の出力結果を加算または減算する。

【0020】この加算または減算結果を電磁石に供給すると、電磁石に供給する電流の変動分およびギャップの変動分がキャンセルされ、電磁石の吸引力は、直流バイアス電流とギャップの定常値等の一定値によって決定される。従って、回転体に振れ回りが発生したとしても、電磁石の吸引力は一定なので、ステータ側には振動が発生しない。

【0021】請求項2記載の磁気軸受装置では、前記周波数抽出手段を帯域通過フィルタで構成し、周波数抽出を行う。請求項3記載の磁気軸受装置では、帯域除去フィルタが、ギャップの変動分信号の内、回転体の回転周波数成分を除去する。減算器は、ギャップの変動分信号から、前記帯域除去フィルタの出力信号を減算する。従って、ギャップの変動信号の内、回転体の周波数成分を抽出する場合と等価的な処理がなされる。

【0022】

【実施例】以下、本発明の磁気軸受装置の実施例を図1ないし図5を参照して詳細に説明する。図1は、本発明の実施例の磁気軸受装置の1軸分の構成図である。

【0023】図1に示すように、回転体（ロータ）Rの上下にはギャップ x を隔てて一対の第1電磁石（+側電磁石）1aおよび第2電磁石（-側電磁石）1bが配置されている。第1電磁石1aには第1コイル2aが巻回され、第1コイル2aは、第1パワーアンプ3aに接続されている。

【0024】また、第2電磁石1bには第2コイル2bが巻回され、第2コイル2bは、第2パワーアンプ3bに接続されている。第1と第2パワーアンプ3a、3bは、電磁石の吸引力変動を「0」に抑える動作を行う磁気軸受制御回路4（4A、4B、4C）に接続されている。なお、磁気軸受制御回路4Aは第1実施例であり、磁気軸受制御回路4Bは第2実施例であり、磁気軸受制御回路4Cは第3実施例である。第1～第3実施例については、それぞれ図2ないし図5に基づいて、その構成を後述する。

【0025】また、ロータRの近傍には、ロータRと第1電磁石1aとのギャップ x の変位を検出する変位センサ5が配置されている。変位センサ5で検出された変位信号は、変位検出回路6に送られて所定の処理が行われ、振れ回り信号（ギャップの変動分） Δx として磁気軸受制御回路4に送出される。

【0026】①第1実施例

5

次に、図2および図3(a)、(b)に基づいて、第1実施例の磁気軸受制御回路4Aの構成および動作を説明する。図2に示すように、変位検出回路6から出力されたギャップの変動分 Δx は、帯域通過フィルタ41と帯域除去フィルタ42とに入力される。

【0027】図3(a)は、帯域通過フィルタ41の周波数特性図であり、図3(b)は帯域除去フィルタ42の周波数特性図である。図3(b)に示すように、帯域除去フィルタ42は、回転体Rの回転周波数 f_r の信号成分を除去し、また、図3(a)に示すように、帯域通過フィルタ41は、ゲイン0dB(1倍)で回転周波数 f_r の信号成分を通過させる。

【0028】帯域通過フィルタ41を通過したゲイン0dBの回転周波数 f_r の信号成分は、乗算器43で I_0/x_0 倍され、回転周波数成分のみに着目した変動電流*

$$[\Delta I] = [\Delta I_1] + [\Delta I_2] \approx (I_0/x_0) \Delta x \quad \dots (9)$$

従って、加算器46で直流バイアス電流 I_0 に変動電流指令値 $[\Delta I]$ が加算されて生成される+側電磁石電流指令値 $[I+]$ と、減算器47で直流バイアス電流 I_0 から変動電流指令値 $[\Delta I]$ が減算されて生成される-側電磁石電流指令値 $[I-]$ とは、それぞれ(10)、(11)式のようになる。

$$【0031】[I+] = I_0 + [\Delta I]$$

$$= I_0 + (I_0/x_0) \Delta x$$

$$= I_0 \{ (x_0 + \Delta x) / x_0 \}$$

$$= (I_0/x_0) (x_0 + \Delta x) \quad \dots (10) \quad *$$

$$F+ = K \{ (I_0 + \Delta I) / (x_0 + \Delta x) \}^2$$

$$= K [\{ I_0 + (I_0/x_0) \Delta x \} / (x_0 + \Delta x)]^2$$

$$= K [I_0 \{ (x_0 + \Delta x) / x_0 \} / (x_0 + \Delta x)]^2$$

$$= K (I_0/x_0)^2 \quad \dots (13)$$

$$F- = K \{ (I_0 - \Delta I) / (x_0 - \Delta x) \}^2$$

$$= K (I_0/x_0)^2 \quad \dots (14)$$

これら(13)、(14)式から明らかなように、ロータRに振れ回りが発生していても、「+側電磁石の吸引力 $F+$ 」および「-側電磁石の吸引力 $F-$ 」がそれぞれ一定となるので、ステータ側には振動が発生しない。

【0033】②第2実施例

図4は、磁気軸受制御回路4の第2実施例のブロック図である。図4に示すように、第2実施例の磁気軸受制御回路4Bは、前述の帯域除去フィルタ42(図2参照)を用いる代わりに、帯域通過フィルタ41の出力を乗算器43に供給すると共に、ギャップの変動分 Δx から帯域通過フィルタ41の出力を減算し、PID補償器44に入力するようにしたものである。

【0034】このように構成すると、PID補償器44の入力側には、図3(b)に示した特性の帯域除去フィルタを通過し、回転周波数 f_r が除去された場合とほぼ等価な信号が供給される。このように構成しても、PID補償器44の出力は $[\Delta I_1]$ となる。

【0035】従って、第1実施例と同様に、「+側電磁石50

6

*成分 $[\Delta I_2]$ が生成される。ここに、 I_0 は、電磁石に流す直流バイアス電流であり、 x_0 は、ギャップの定常値である。この変動電流成分 $[\Delta I_2]$ は、(7)式のように表される。

【0029】

$$[\Delta I_2] \approx (I_0/x_0) \Delta x \quad \dots (7)$$

一方、回転周波数 f_r の信号成分は、帯域除去フィルタ42で除去され、PID補償器44を通過する。PID補償器44の出力である回転周波数成分のみに着目した変動電流成分 $[\Delta I_1]$ は、(8)式で表される。

$$【0030】[\Delta I_1] \approx 0 \quad \dots (8)$$

従って、 $[\Delta I_1]$ と $[\Delta I_2]$ とが加算器45で加算された変動電流指令値 $[\Delta I]$ は、(9)式で表される。

$$* [I-] = I_0 - [\Delta I]$$

$$= (I_0/x_0) (x_0 - \Delta x) \quad \dots (11)$$

(9)式よりロータRが Δx だけ変位(ギャップの変動分)した場合に、実際の電磁石電流の変動分 ΔI は、(12)式で表される。

$$【0032】\Delta I = (I_0/x_0) \Delta x \quad \dots (12)$$

従って、(12)式を(4)式に代入すると、「+側電磁石の吸引力 $F+$ 」と「-側電磁石の吸引力 $F-$ 」とは、それぞれ(13)、(14)式で表される。

☆石の吸引力 $F+$ と、「-側電磁石の吸引力 $F-$ 」とは(15)、(16)式のようになる。

$$F+ = K (I_0/x_0)^2 \quad \dots (15)$$

$$F- = K (I_0/x_0)^2 \quad \dots (16)$$

よって、ロータRに振れ回りが発生していても、「+側電磁石の吸引力 $F+$ 」および「+側電磁石の吸引力 $F-$ 」がそれぞれ一定となるので、ステータ側には振動が発生しない。

【0036】③第3実施例

図5は、磁気軸受制御回路4の第3実施例のブロック図である。図5に示すように、第3実施例の磁気軸受制御回路4Cは、前述の帯域通過フィルタ41(図2参照)を用いる代わりに、帯域除去フィルタ42の出力をPID補償器44に供給すると共に、減算器48でギャップの変動分 Δx から帯域除去フィルタ42の出力を減算し、乗算器43に入力するようにしたものである。

【0037】このように構成すると、乗算器43の入力側には、図3(a)に示した特性の帯域通過フィルタを

通過し、回転周波数 f_r が抽出された場合とほぼ等価な信号が供給される。このように構成しても、乗算器 43 の出力は $(\Delta I 2)$ となる。

【0038】従って、第1実施例と同様に、「+側電磁石の吸引力 $F+$ 」と、「-側電磁石の吸引力 $F-$ 」とは (17)、(18) 式のようになる。

$$F+ = K (I_0 / x_0)^2 \quad \dots (17)$$

$$F- = K (I_0 / x_0)^2 \quad \dots (18)$$

よって、ロータ R に振れ回りが発生していても、「+側電磁石の吸引力 $F+$ 」および「-側電磁石の吸引力 $F-$ 」がそれぞれ一定となるので、ステータ側には振動が発生しない。

【0039】以上、第1実施例ないし第3実施例で説明したように、回転体の不釣り合いによってステータ側に発生する回転周波数成分の不釣り合い振動を著しく減少させることができるため、例えば、ターボ分子ポンプを電子顕微鏡などに装着する際に必要とされていた機械式のダンパなどを省略することが可能となり、装置全体の小型化、コストダウンを行える。

【0040】また、従来、振れ回りによる振動を抑えるために行っていたロータの精密なバランス取が不要となるため、バランス取工程の時間が大幅に短縮される。なお、帯域除去フィルタ 41、帯域通過フィルタ 42 は、フィルタの中心周波数が回転周波数に同期して変化するトラッキング方式でもよいし、定常回転周波数に設定された固定方式でもよい。

【0041】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、変位検出手段が検出した回転体と電磁石とのギャップの変位に伴う信号の内、周波数抽出手段が抽出した回転体の回転周波数成分を取り出し、所定の処理をした後、電磁石に供給しているの、ギャップ変動分および電磁石に供給する電流の変動分がキャンセルされ、電磁石の吸引

力は一定となる。従って、回転体の振れ回りがあっても、電磁石の吸引力は一定なので、ステータ側には振動が発生しない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例の磁気軸受装置を適用する磁気軸受制御システムの1軸分の構成図である。

【図2】同上、磁気軸受制御回路の第1実施例のブロック図である。

【図3】同上、第1実施例に用いるフィルタの周波数特性図であって、(a)は帯域通過フィルタ、(b)は帯域除去フィルタである。

【図4】同上、磁気軸受制御回路の第2実施例のブロック図である。

【図5】同上、磁気軸受制御回路の第3実施例のブロック図である。

【図6】一般的な電磁石における電磁石電流の変動とギャップの変動との関係を説明する図である。

【図7】従来の磁気軸受制御回路の例を示すブロック図である。

【符号の説明】

R ロータ (回転体)

1 a、1 b 電磁石

3 a、3 b パワーアンプ

4 磁気軸受制御回路

4 A 第1実施例の磁気軸受制御回路

4 B 第2実施例の磁気軸受制御回路

4 C 第3実施例の磁気軸受制御回路

41 帯域通過フィルタ (周波数抽出手段)

42 帯域除去フィルタ (周波数抽出手段)

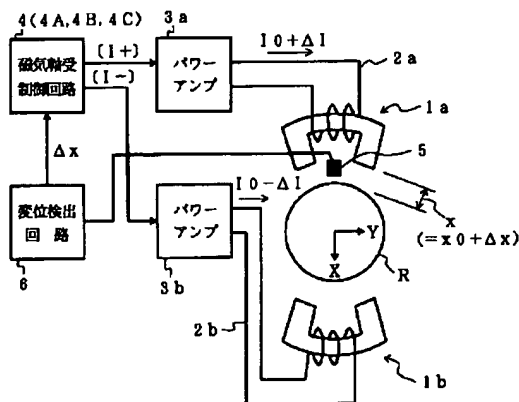
43 乗算器 (第1演算手段)

44 PID補償器

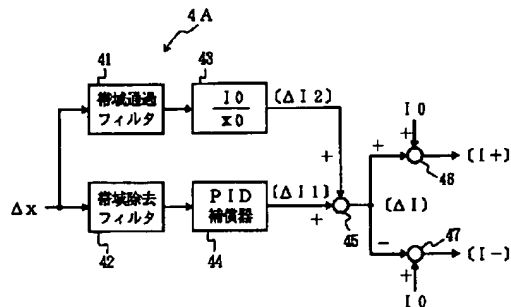
46 加算器 (第2演算手段)

47 減算器 (第2演算手段)

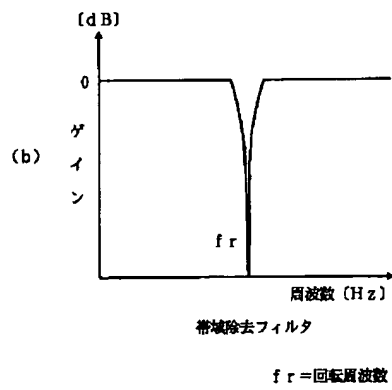
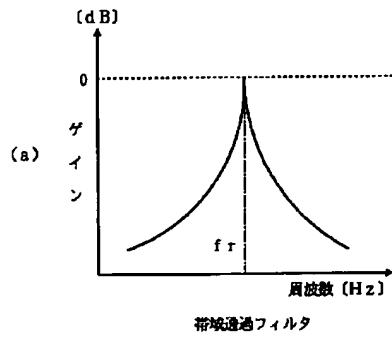
【図1】



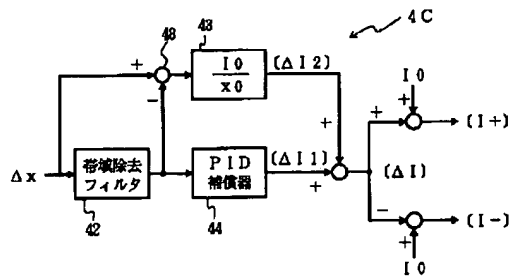
【図2】



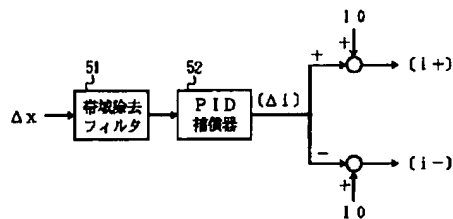
【図3】



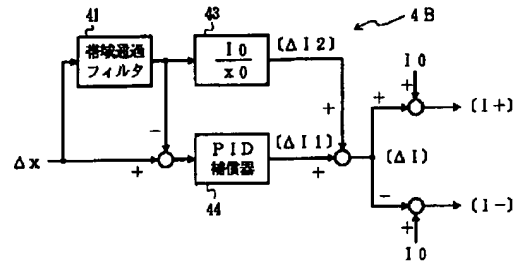
【図5】



【図7】



【図4】



【図6】

